

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ТИРИСТОРНЫХ РШИП С СИММЕТРИЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Л. С. УДУТ, В. С. ФАДЕЕВ, В. А. БЕЙНАРОВИЧ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Свойства реверсивных электроприводов с двигателями независимого возбуждения, питающимися от реверсивных широтно-импульсных преобразователей (РШИП) с симметричным законом управления, аналогичны свойствам системы генератор—двигатель, чем и обусловлено их широкое применение. Использование тиристоров в качестве силовых ключей в РШИП приводит к необходимости введения временной задержки t_3 между переключениями тиристоров в плечах моста. На рис. 1 приведена схема тиристорного РШИП с трансформаторными устройствами принудительной коммутации, из которой видно, что включение, например, тиристора T_4 допустимо только после полного восстановления запирающих свойств тиристора T_1 . Введение временной задержки существенно изменяет режимы работы РШИП, механические характеристики электропривода и вносит отличия в методику их расчета по сравнению с [1].

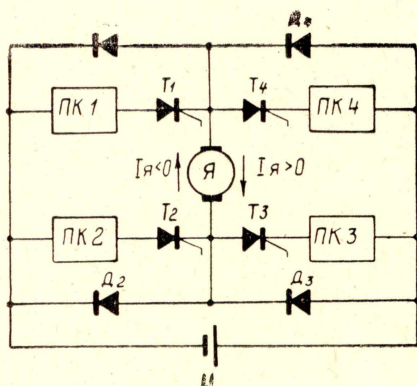


Рис. 1

Проведем анализ квазиустановившихся электромагнитных режимов работы тиристорных РШИП на якорную цепь двигателя независимого возбуждения при следующих допущениях: вентили идеальные (сопротивление равно нулю или бесконечности); параметры цепи якоря $R_я$, $L_я$ постоянные; источник питания с напряжением имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, и допускает протекание тока в любом направлении; эдс E двигателя за время периода коммутации T не изменяется; устройство принудительной коммутации в момент выключения тиристоров мгновенно уменьшает до нуля напряжение питания двигателя. На рис. 2 приведены диаграммы, иллюстрирующие при принятых допущениях различные режимы работы тиристорного РШИП при постоянной скважности импульсов и различных средних токах и эдс якоря двигателя с учетом возможности протекания тока двигателя через обратные диоды (рис. 1) и источник питания независимо от состояния тиристоров в плечах моста. На рис. 2,а показано выходное напряжение. На рис. 2,б показаны диаграммы тока якоря для граничных случаев,

разделяющие токовые режимы на ряд характерных зон: режим непрерывного тока — зона I, прерывистых однополярных импульсов тока — зона II, прерывистых биполярных импульсов тока — зона III и режим непрерывного переменного тока (с возможным содержанием постоянной составляющей) — зона IV. Дифференциальные уравнения тока якорной цепи на отдельных интервалах периода коммутации имеют вид

$$\pm U = L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + R_{\text{я}} i_{\text{я}} + E. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) с последующим интегрированием позволяет определить механические характеристики для различных режимов работы (зон рис. 2,б). В плоскости механических характеристик четырем возможным токовым режимам будут соответствовать четыре области, разделенные граничными кривыми.

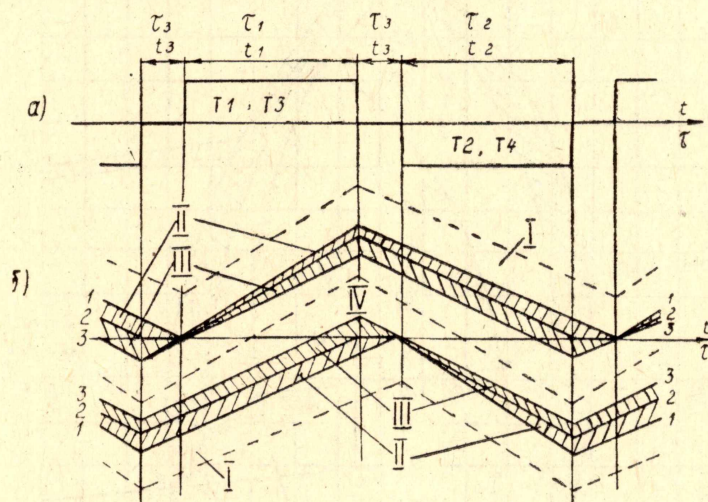


Рис. 2

Определим границу между режимом непрерывного тока (зона I) и режимом прерывистых однополярных импульсов тока (зона II) из условий, что в конце периода значение тока уменьшается до нуля (кривая 1—1 на рис. 2,б). Взяв за единицу измерения времени период коммутации, получим при указанных условиях

$$U(2e^{-\frac{1-\tau_1}{\tau}} - e^{-\frac{1}{\tau_{\text{я}}}} - 1) - E_{\text{гр}}(1 - e^{-\frac{1}{\tau_{\text{я}}}}) = 0. \quad (2)$$

Применяя разложение в степенной ряд с учетом первых трех членов ряда, получим из (2) упрощенное уравнение для граничной скорости при положительных средних значениях тока двигателя (правая граница)

$$\frac{\omega_{\text{гпр1}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{гпр1}}}{U} = 2\tau_1 \left(1 + \frac{\tau_2 - 1}{2\tau_{\text{я}} - 1} \right) - 1 \quad (3)$$

и при отрицательных средних значениях тока (левая граница)

$$\frac{\omega_{\text{гпр1}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{гпр1}}}{U} = 1 - 2\tau_2 \left(1 + \frac{\tau_2 - 1}{2\tau_{\text{я}} - 1} \right). \quad (4)$$

Интегрируя на интервале периода повторения решения уравнения (1) для граничных условий перехода из режима непрерывного тока в режим прерывистых однополярных импульсов тока и применяя разложение в степенной ряд, определим граничное среднее значение тока двигателя для положительных токов (правая граница)

$$I_{\text{нгр1}} = \frac{U - E_{\text{нгр1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} \tau_1 (2 - \tau_1) - \frac{U + E_{\text{нгр1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} (1 - \tau_1)^2 \quad (5)$$

и для отрицательных токов (левая граница)

$$I_{\text{огр1}} = - \frac{U - E_{\text{огр1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} \tau_2 (2 - \tau_2) + \frac{U + E_{\text{огр1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} (1 - \tau_2)^2. \quad (6)$$

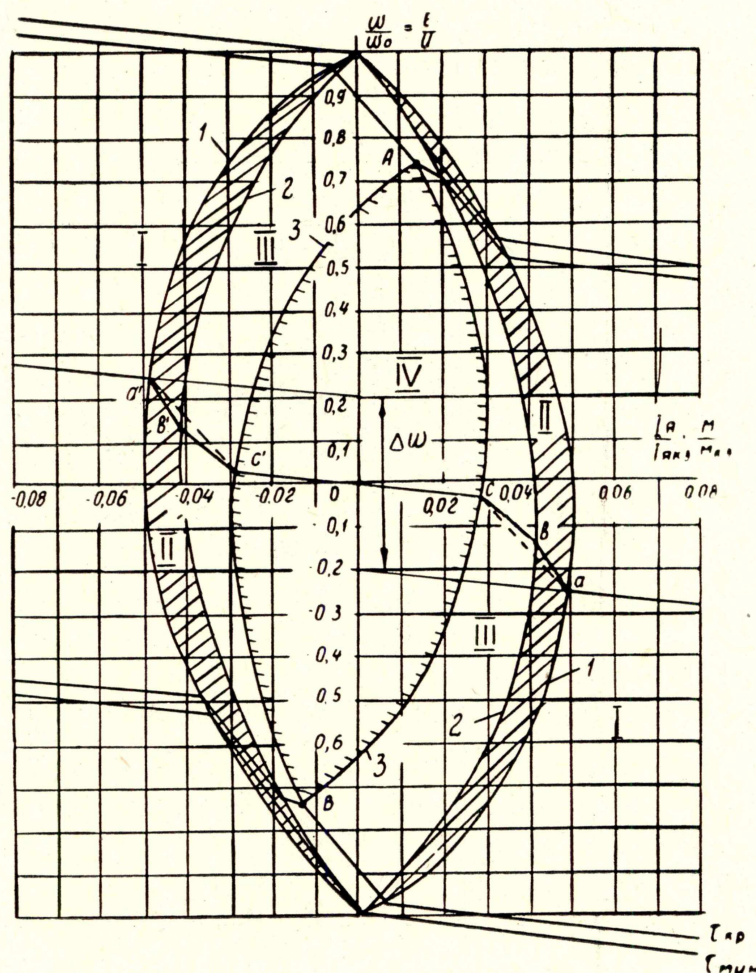


Рис. 3

По уравнениям (3) — (6) на рис. 3 построены границы 1 области режима непрерывного тока (зоны I) в плоскости механических характеристик.

Граничные условия между режимами прерывистых однополярных импульсов тока определяются отсутствием тока в двигателе на интервале одной временной задержки (τ_3) в каждом периоде (кривая 2—2 на рис. 2,б). Используя такую же методику, получаем выражение граничной скорости эдс и граничного среднего тока для положительных токов (правая граница).

$$\frac{\omega_{\text{нгр2}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{нгр2}}}{U} = \frac{2\tau_1(2\tau_2 + 2\tau_3 + \tau_1 - 2)}{2\tau_2(1 - \tau_3) - (1 - \tau_2)^2} - 1 \quad (7)$$

$$I_{\text{нгр2}} = \frac{U - E_{\text{нгр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} \tau_1(2 - \tau_1 - 2\tau_3) - \frac{U + E_{\text{нгр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} (1 - \tau_1 - \tau_3)^2 \quad (8)$$

и для отрицательных токов (левая граница)

$$\frac{\omega_{\text{огр2}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{огр2}}}{U} = 1 - \frac{2\tau_2(2\tau_2 + 2\tau_3 + \tau_2 - 2)}{2\tau_2(1 - \tau_3) - (1 - \tau_2)^2}, \quad (9)$$

$$I_{\text{огр2}} = -\frac{U - E_{\text{огр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} \tau_2(2 - \tau_2 - 2\tau_3) + \frac{U + E_{\text{огр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} (1 - \tau_2 - \tau_3)^2. \quad (10)$$

На рис. 3 эта граница обозначена цифрой 2.

Граничные условия между режимом прерывистых биполярных импульсов тока и режимом непрерывного переменного тока определяются равенством нулю текущего значения тока в конце каждого периода при наличии изменения направления тока внутри периода (кривая 3—3 рис. 2,б). Соответственно выражения граничных значений скорости, эдс и среднего тока, определяющие правую границу области переменных токов в плоскости механических характеристик, имеют вид

$$\frac{\omega_{\text{нгр3}}}{\omega_0} = \frac{\omega_{\text{нгр1}}}{\omega_0} + \frac{2\tau_3(2\tau_2 - \tau_3)}{2\tau_2 - 1}, \quad (11)$$

$$I_{\text{нгр3}} = I_{\text{нгр1}} - \frac{e U \tau_3}{R_{\text{я}}(2\tau_2 - 1)}, \quad (12)$$

где $\omega_{\text{нгр1}}$, $I_{\text{нгр1}}$ — относительная скорость (3) и средний ток (5) на границе непрерывного режима (кривая 1 рис. 3) при соответствующих значениях τ_1 . Левая граница области переменных токов определяется по уравнениям

$$\frac{\omega_{\text{огр3}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{огр3}}}{U} = \frac{2(\tau_2 + \tau_3 - 1)(1 - \tau_2 - 2\tau_2 + \tau_3)}{2\tau_2 - 1} - 1, \quad (13)$$

$$I_{\text{огр3}} = -\frac{U - E_{\text{огр3}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} [(\tau_2 + \tau_3)^2 + 2\tau_2(1 - \tau_2 - \tau_3)] + \frac{U + E_{\text{огр3}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} (1 - 2\tau_2 + \tau_2^2 + \tau_3^2). \quad (14)$$

По уравнениям (11) — (14) на рис. 3 построены границы 3 области переменного тока.

Пересечения правой и левой границ 3 (рис. 3) режима переменного тока образуют область IV, внутри которой механические характеристики прямолинейны и выражаются уравнением

$$\frac{\omega_{\text{IV}}}{\omega_0} = (2\tau_1 + \tau_3 - 1) - \frac{I_{\text{я}}}{I_{\text{якз}}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{якз}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}$ — ток короткого замыкания.

В области непрерывных токов $I_{\text{я}}$ (рис. 3) механические характеристики также прямолинейны, но в правой полуплоскости (при положительных токах) они выражаются уравнением

$$\frac{\omega_{\text{пI}}}{\omega_0} = (2\tau_1 - 1) - \frac{I_{\text{я}}}{I_{\text{якз}}}, \quad (16)$$

а в левой полуплоскости (при отрицательных токах) — уравнением

$$\frac{\omega_{0I}}{\omega_0} = (2\tau_1 + 2\tau_3 - 1) - \frac{I_{я}}{I_{якз}}. \quad (17)$$

В области прерывистых токов II и III (рис. 3) механические характеристики нелинейны. Однако ввиду узости областей прерывистых токов нелинейные механические характеристики можно заменить отрезками прямых, соединяющих точки пересечения механических характеристик для областей I и IV непрерывного тока с границами режимов непрерывного тока I и 3 (рис. 3).

Рекомендуется следующая методика расчета механических характеристик электроприводов с тиристорными РШИП при симметричном совместном управлении.

1. По уравнениям (3), (5) и (4), (6) строится граница 1 (рис. 3) перехода из режима непрерывного в режим прерывистого тока и определяется область I.

2. По уравнениям (11), (12), и (13), (14) строится граница 3 (рис. 3) перехода из режима прерывистого тока в режим переменного тока и определяется область IV.

3. Для заданного значения τ_1 , τ_2 и τ_3 строятся механические характеристики для режимов непрерывного тока: в правой полуплоскости области I (рис. 3) — по (16), в левой полуплоскости области I — по (17), внутри области IV — по (15).

4. Точки пересечения механической характеристики с границами режимов (точки а, с и а', с' на рис. 3) соединяются отрезками прямых так, чтобы получилась непрерывная ломаная механическая характеристика. Если прямая aa' не встречается с областью IV, то режима переменного тока не существует и механическая характеристика представляется в зоне прерывистых токов линией aa'.

При неучете режимов прерывистого тока механические характеристики можно построить в правой полуплоскости по уравнению (16), в левой — по (17). В этом случае при среднем токе, равном нулю, имеется разрыв механической характеристики, сопровождающейся скачком скорости, определяемым из (16) и (17).

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 4\tau_3. \quad (18)$$

Например, при частоте коммутации 500 гц ($T=2000$ мксек) для тириستоров типа Т-150 необходима временная задержка $t_3 \approx 150$ мксек, что приводит к появлению скачка скорости при изменении знака момента

$$\text{тока) } \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 4 \frac{150}{2000} = 0,3.$$

Проведенные эксперименты подтвердили правильность предложенной методики расчета механических характеристик и непригодность для рассматриваемых систем методики [1], разработанной для систем с транзисторными РШИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. А. Коссов. Усилители мощности на транзисторах в режиме переключений. «Энергия», 1971.